

# TÉCNICA AUTORRADIOGRÁFICA PARA INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA – ESTUDO DE CASO NA ÁREA DO PROJETO RIO PRETO

Cynthia Romariz DUARTE <sup>1</sup> & Daniel Marcos BONOTTO <sup>2</sup>

(1) Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Campus Universitário. CEP 59072-970. Natal, RN. Endereço eletrônico: cynthia@geologia.ufrn.br. (2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: dbonotto@rc.unesp.br.

Introdução  
Metodologia  
Amostras Analisadas  
Resultados e Discussões  
Conclusão  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – A autorradiografia é um método fotográfico de registro da distribuição espacial de radioisótopos numa amostra ou objeto que se baseia no registro dos traços de partículas  $\alpha$  liberadas por desintegração de elementos radioativos em emulsão sensível a estas partículas. A autorradiografia foi empregada na identificação da presença de minerais radioativos em algumas amostras de xistos e gnaisses da Formação Ticunzal, aflorantes no nordeste do Estado de Goiás, com o intuito de implementar a utilização desta técnica junto ao LABIDRO – Laboratório de Hidroquímica e Isótopos do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.

**Palavras-chave:** Autorradiografia, Formação Ticunzal.

**ABSTRACT** – C.R. Duarte & D.M. Bonotto – *Autoradiographic technique for geological investigation – case study in Rio Preto Project area.* The auto-radiography is a photographic method to register in sensitive emulsion the spatial distribution  $\alpha$  rays emitted by radioisotopes of a sample or an object. The auto-radiography was applied to detect the presence of radioactive minerals in some samples of schists and gneisses from the Ticunzal Formation, Northeast Goiás State, aiming to implement the use of this technique in LABIDRO – Hydrochemistry and Isotopes Laboratory of the Department of Petrology and Metallogenesis, State University of São Paulo/Campus of Rio Claro.

**Keywords:** Auto-radiography, Ticunzal Formation.

## INTRODUÇÃO

A autorradiografia é um método fotográfico de registro da distribuição espacial de radioisótopos numa amostra ou objeto e baseia-se na propriedade da emulsão capaz de registrar os traços de partículas  $\alpha$  liberadas por elementos radioativos (Coelho, 1986; Kwinta et al., 1980; Houston & Jefferies, 1982).

A autorradiografia é tão antiga quanto o conhecimento da radioatividade. Durante a segunda metade do Século 19, Niepce de Saint-Victor, Henri Becquerel e Madame Curie descobriram, através de experimentos com emulsões de sais de prata, que compostos formados tanto de urânio como de tório, produziam uma imagem desenvolvida no escuro quando separados das emulsões através de fina folha de papel. Campbell & Wood (1906, segundo Bowie, 1951) demonstraram mais tarde que compostos de potássio também são capazes de ativar uma chapa fotográfica.

A aplicação destas descobertas na pesquisa geológica só seria empregada bem mais tarde, principalmente porque as primeiras emulsões de sais de prata foram

desenvolvidas essencialmente para as especificações da fotografia. Posteriormente, emulsões nucleares especiais foram desenvolvidas, possuindo qualidades que podem ser empregadas com sucesso em estudos mineralógicos (Bowie, 1951).

Stöp & Becke (1904, segundo Brandão, 1984) foram os primeiros pesquisadores a utilizarem a técnica de autorradiografia visando mostrar a distribuição de minerais radioativos em minérios, tendo sido pioneiros no emprego da autorradiografia em pechblenda para mostrar a distribuição da radioatividade mineral em amostras de minério.

Cinco anos mais tarde, Bowie (1951) demonstrou que a radioatividade em grãos minerais espalhava-se na chapa fotográfica produzindo, ou desenvolvendo, um enegrecimento ao redor dos grãos. Amostras de minerais foram testadas por estudiosos, tendo sido concluído que apenas espécies ricas em urânio e tório produziam a marca de enegrecimento na emulsão. Em 1911, Reinganum (segundo Bowie, 1951), mostraram

que este enegrecimento, quando causado por partículas  $\alpha$ , é devido a agregados de traços  $\alpha$ , cada um representado pelo desenvolvimento de linhas de grãos de prata na emulsão.

A descoberta é uma das mais importantes para o reconhecimento dos traços de partículas  $\alpha$  em emulsões nucleares, e serve para discriminação entre enegrecimentos causados por minerais de urânio e/ou tório e aqueles devidos a outros efeitos pseudofotográficos (raios X). Entretanto, isto não era conhecido antes de 1927 quando Alexandrov (segundo Bowie, 1951) empregou o primeiro tipo de emulsão nuclear em trabalho geológico, para ilustrar com detalhe a autorradiografia de seções polidas.

As propriedades das emulsões nucleares são conhecidas e o mecanismo de autorradiografia fornece tantos detalhes que habilita o geólogo a estimar valores autorradiográficos como forma de identificação e localização de minerais de urânio, tório e potássio (Bowie, 1951). Quando princípios básicos são conhecidos e empregados, a autorradiografia pode ser obtida com sucesso para vários materiais classificados como radioativos (Hahn, 1983).

A autorradiografia tem sido usada quando se estuda a distribuição não só de elementos radioativos naturais, mas também quando se tem interesse em um número de elementos estáveis através do uso de ativação radiográfica. A existência da autorradiografia permite a determinação da distribuição local dos elementos com sensibilidade de 0,01 a 1 ppm (Mironov et al., 1995).

Genericamente, a autorradiografia pode ser separada entre técnicas de micro e macroautorradiografia. Estes prefixos referem-se ao tipo de amostra contendo a radioatividade, a natureza da imagem resultante e ao processo de exame (Hahn, 1983), entretanto, para fins de estudos geológicos será empregada somente a microautorradiografia, que permite estudar em detalhe a distribuição da mineralização de elementos radioativos nas rochas (Brandão, 1984).

Neste caso, após a exposição, o filme fotossensível é processado fotograficamente. As imagens resultantes – grãos de prata individuais ou traços de grãos – requerem auxílio óptico para sua observação, através do emprego de um microscópio óptico ou eletrônico (Hahn, 1983).

Os recentes avanços na instrumentação proporcionam a capacidade de quantificar o tamanho, a taxa de contagem, o tipo de radiação e a composição química (Zeissler et al., 1998).

Vários materiais capazes de registrar as radiações espontâneas têm sido empregados, porém alguns apresentam determinadas características que os tornam inviáveis do ponto de vista de praticidade. As emulsões fotográficas nucleares, além de exigirem câmara escura

para a sua revelação, têm vida útil limitada em no máximo um ano e são importadas, o que, sem dúvida, onera o custo final do método (Brandão, 1984).

As radiações  $\alpha$  originadas da desintegração espontânea do U e/ou Th são registradas como diminutos pontos ou traços na superfície do detector, onde são, posteriormente, intensificadas através de ataque com soluções ácidas ou alcalinas, de acordo com o tipo de detector utilizado, visto que os traços não são imediatamente visíveis.

O tempo de exposição exigido é função direta da radioatividade da substância analisada, da intensidade da imagem desejada, bem como da sensibilidade do material empregado (Bowie, 1951). A densidade da imagem é diretamente proporcional à atividade  $a$  de uma fonte numa unidade de área e tempo, fornecendo conseqüentemente o teor em radioelementos (Coppens et al., 1979).

A imagem obtida pode ser analisada quantitativamente quando se possui uma escala de tons de cinza associada a valores, produzida para um determinado tipo de exposição ou uso. Nageldinger et al. (1998) propuseram uma metodologia autorradiográfica em que valores quantitativos são obtidos mediante comparação das imagens com uma escala de tons de cinza.

As vantagens da autorradiografia consideradas por Fujimori (1974) são:

- alta sensibilidade e conseqüente alto limite de determinação: para a determinação de baixo teor de elementos radioativos pode-se prolongar “infinitamente” o tempo de exposição, de tal maneira que sejam aproveitadas todas as partículas impressoras incidentes;
- baixo custo: não exige aparelhamento especial, bastando a amostra, devidamente preparada, em contato com a emulsão;
- localização dos elementos radioativos: procurando a correspondência com as imagens microscópicas da amostra, pode-se localizar as concentrações (minerais) dos elementos radioativos com a precisão da ordem de 10  $\mu$ ;
- distribuição dos elementos radioativos: pode-se observar, microscópica e macroscopicamente, a distribuição dos elementos radioativos na amostra.

O principal objetivo deste trabalho foi a implantação da técnica de autorradiografia no LABIDRO – Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP/Campus de Rio Claro (DPM/IGCE/UNESP-Rio Claro), conforme apresentado por Duarte (2002).

Uma vez implementada, a metodologia foi aplicada na análise de xistos e paragneisses da Formação

Ticunzal, formação esta descrita como encaixante da mineralização de urânio na área do projeto Rio Preto. Esse projeto foi executado pela Nuclebrás no final da década de 70 e início dos anos 80, a qual efetuou o mapeamento geológico básico da região e a caracterização radiométrica por aerogamaespectrometria, sem

canais discriminados (Andrade et al., 1981, 1985). A partir de uma avaliação prévia de dados obtidos por Andrade et al. (1981) e Figueiredo Filho et al. (1982), constatou-se a necessidade de se efetuar uma melhor caracterização radiométrica das rochas da região, no que a autorradiografia foi aplicada.

## METODOLOGIA

A técnica implantada baseou-se no fato de que a exposição direta do espécime na emulsão fornece as melhores resoluções de imagem. Neste trabalho foram empregadas lâminas de rocha, cortadas em placas de dimensões de aproximadamente 4,0x3,0x0,5 cm, as quais foram expostas em contato direto por diferentes períodos, usando chapas de emulsão KODAK BioMax MR-2, escolhidas em função de suas características químico-fotográficas.

O fluxograma da Figura 1 ilustra os procedimentos utilizados. Como controle, durante os experimentos envolvendo cada uma das folhas de emulsão, utilizou-se uma amostra de uraninita depositada em caixa cilíndrica plástica.

Após o período de exposição, as chapas foram reveladas e passaram por processo de fixação, no Laboratório Fotográfico do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP/Rio Claro, com reagentes específicos para este tipo de experimento, a saber: revelador-reforçador KODAK GBX, e fixador-reforçador KODAK GBX. Após o enxágüe e secagem das chapas de emulsão, procedeu-se à obtenção da imagem em positivo por contato com papel fotográfico normal. Foram escolhidas as melhores imagens que, posteriormente, foram transformadas em arquivos digitais por meio de um *scanner*.

A autorradiografia foi efetuada em amostras do Membro Inferior da Formação Ticunzal, selecionadas

a partir do mapa geológico e do mapa de pontos da área do Projeto Rio Preto, onde foi desenvolvido este estudo piloto.

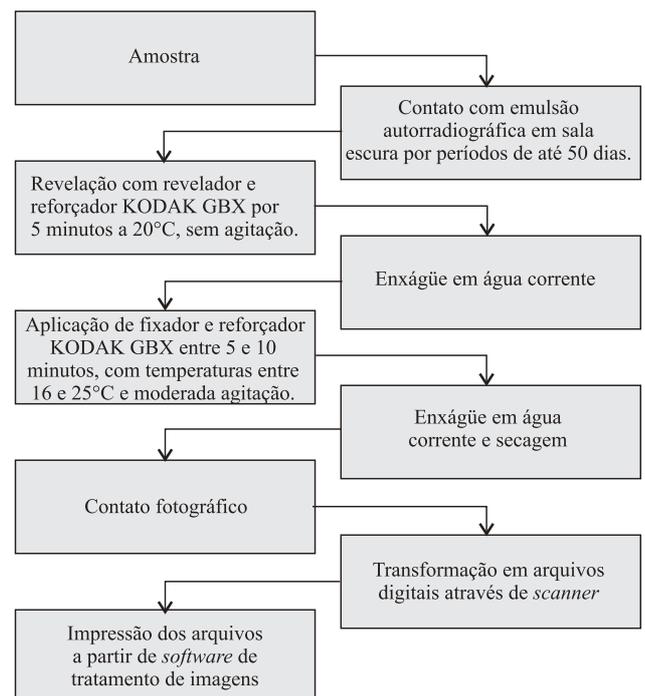


FIGURA 1. Fluxograma de desenvolvimento da técnica autorradiográfica.

## AMOSTRAS ANALISADAS

A área onde foi realizado este estudo está localizada a nordeste do Estado de Goiás, limitada pelos meridianos 47°50' e 48°05' W e pelos paralelos 13°47' e 14°00' S, num total de 650 km<sup>2</sup>, que engloba as confluências dos Rios Claro e Preto, este último afluente do Rio Tocantins.

A área de interesse está localizada na Região do Planalto Central Goiano, mais especificamente na unidade Complexo Montanhoso Veadeiros-Araí (Lacerda Filho et al., 2000). Esta região está inserida no Domínio dos Planaltos de Estruturas Dobradas, reproduzindo feições de relevo resultantes da exumação de estruturas dobradas no decorrer de vários ciclos

tectônicos, refletidos em diferentes estilos estruturais, que explicam as particularidades do relevo. Geologicamente, situa-se na porção norte da Faixa de Dobramentos Brasília da Província Tocantins. As rochas na área são predominantemente metassedimentares de baixo grau e rochas granito-gnáissicas representando embasamento da região. A Figura 2 mostra o mapa geológico da área e os pontos amostrados.

As rochas mais antigas da área estão agrupadas no Complexo Basal de Almeida (1968, segundo Andrade et al., 1981), que compreende gnaisses porfiroblásticos, ortognaisses de composição granodiorítica-tonalítica,

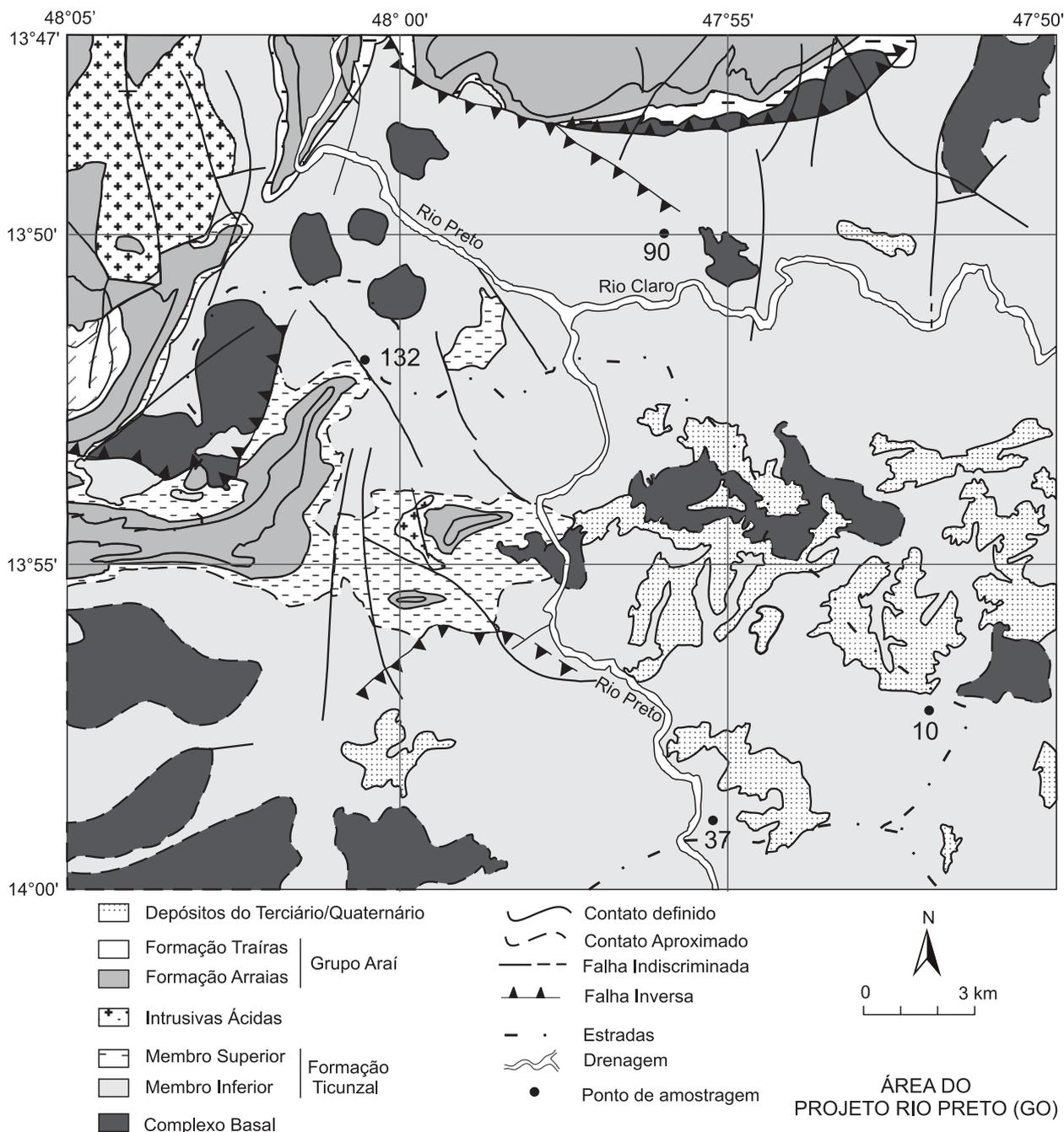


FIGURA 2. Mapa geológico da área de estudo, com indicação dos pontos estudados.

corpos granodioríticos e xistos subordinados. Ainda nesta unidade são encontrados núcleos migmatíticos, veios pegmatíticos e diques de rochas básicas (Andrade et al., 1981).

Estratigraficamente acima do Complexo Basal, sob a denominação de Formação Ticunzal, ocorre um conjunto de rochas xistosas com intercalações de paragneisses na base. O conjunto é representado por biotita-muscovita xistos, grafitosos ou não. Os paragneisses são biotita gnaisses finos, cinza-claros, granatíferos, finamente foliados, com bandamento evidente. Expressiva na área, a Formação Ticunzal

possui dois membros. O inferior é constituído por uma seqüência de gnaisses com intercalações de xistos, às vezes grafitosos, e o superior, por um pacote de xistos grafitosos, nos quais a quantidade de quartzo aumenta para o topo da formação, chegando a quartzo xistos. Nesta posição da unidade ocorrem quartzo xistos intercalados com níveis de xistos granatíferos e turmalínicos, com pouca ou nenhuma grafita e muito quartzosos. As rochas aflorantes, em especial as xistosas apresentam elevado grau de alteração, com coloração vermelha decorrente da alteração de minerais que contêm ferro.

Estratigraficamente acima da Formação Ticunzal, ocorre um pacote de rochas metamórficas, constituído de psamitos na base e pelitos no topo, conhecido por Grupo Araí. Este grupo é dividido em duas formações, Arraias e Traíras. A primeira é constituída por quartzitos e responsável pelas principais elevações topográficas da região; a segunda está restrita à parte noroeste da área e apresenta um caráter mais pelítico, constituída por micaxistos e metassiltitos.

As rochas da Formação Ticunzal são caracteristicamente politectônicas e polimetamórficas, apresentando todas as deformações e transformações que afetaram o Grupo Araí e, pelo menos outras de um evento anterior. Em campo, foram constatadas a presença de fraturas e crenulações em rochas xistosas. Subjacentes às rochas do Grupo Araí ocorrem a noroeste da área alguns corpos intrusivos ácidos de composição granítica, que cortam o Complexo Basal e a Formação Ticunzal. O contato com estas encaixantes é aparentemente de natureza intrusiva, porém sem

apresentar indícios de ação térmica em suas zonas de contato e são relacionados a processos de ascensão diapírica ou tectônica (Andrade et al., 1981).

Ocorrem ainda na área, coberturas detrito-lateríticas, formadas por camadas lateríticas associadas a solo argilo-arenoso, e depósitos aluvionares representados por superfícies aplainadas com ligeiras ondulações próximas aos interflúvios das drenagens de mais baixa ordem.

Andrade et al. (1985) descrevem as mineralizações de urânio para a área associando-as às rochas xistosas, sendo a mais comum ocorrente em quartzomuscovita-biotita xistos grafitosos ou não, granatíferos ou não. Os níveis de xisto pobres em biotita, tais como os sericita-muscovita xistos, são descritos como estéreis, mas isso não significa que todas as ocorrências de biotita xistos apresentem concentrações de urânio. Foram encontrados valores significativos de urânio também em rochas gnáissicas. As amostras investigadas pertencem ao Membro Inferior da Formação Ticunzal.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A autorradiografia foi efetuada em amostras selecionadas, procurando incluir aquelas provenientes do Membro Inferior da Formação Ticunzal.

A uraninita utilizada como controle foi exposta por períodos de 50 dias, juntamente com as amostras, tendo sido também exposta por períodos menores, isto é, 4, 6 e 7 dias para que se pudesse avaliar melhor o efeito do tempo de exposição nas características das imagens. As Fotos 1 a 4 (Figura 3) ilustram as imagens autorradiográficas obtidas para a uraninita depositada para períodos de 4 a 50 dias, onde nitidamente se nota a eficácia da técnica, com similaridade de imagens para períodos de tempo próximos (6 e 7 dias, Fotos 2 e 3, respectivamente) e um número acentuado de pontos para prolongado tempo de exposição (50 dias), quase conduzindo à obstrução visual da imagem (Foto 4).

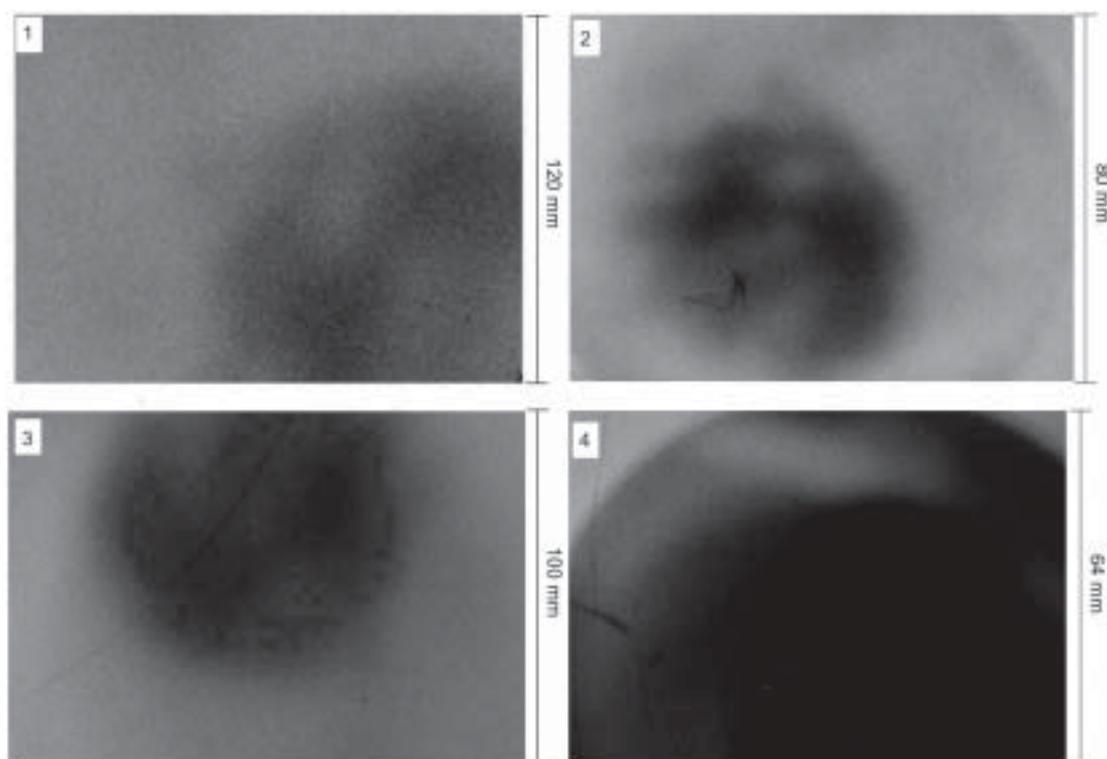
Além deste controle, duas amostras de granito provenientes do Complexo Pluriserial Socorro de Artur et al. (1993, segundo Moura 2000) foram submetidas a exposição de 50 dias. A Foto 5 (Figura 4) ilustra a imagem autorradiográfica obtida para o granito rosa salmão da Associação Socorro I do Complexo Socorro. A composição mineralógica deste, segundo Moura (2000), é essencialmente de megacristais de microclínio, plagioclásio alterado, biotita, quartzo e opacos, sendo os acessórios mais comuns apatitas, zircões e titanitas, que aparecem como inclusões no feldspato potássico. Outra vez se nota a eficácia da técnica, sendo que na Foto 5 é possível, devido à radioatividade, observar diversos pontos distintos distribuídos pela imagem, provavelmente ocasionados por cristais de

apatita e titanita inclusos nos megacristais de feldspato potássico.

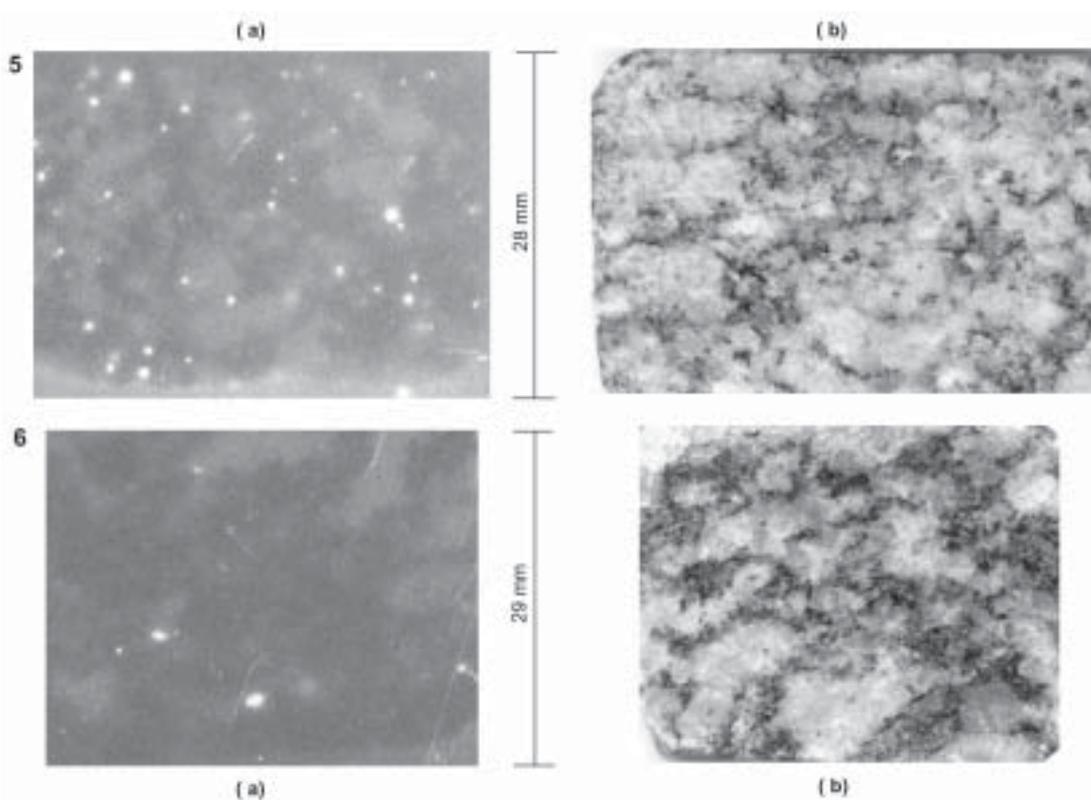
A outra amostra de granito é o azul fantástico, proveniente da Associação Socorro I do Complexo Socorro de Artur et al. (1993, segundo Moura, 2000), a qual produziu a imagem da Foto 6 (Figura 4). A mineralogia deste granito é constituída essencialmente por megacristais de quartzo azul e de feldspato potássico em matriz escura formada por biotita, opacos, plagioclásio e quartzo, tendo como principais minerais acessórios zircão, apatita e titanita, ocorrendo sempre em associação com a biotita (Moura, 2000). Na imagem autorradiográfica (Foto 6) é possível observar-se alguns pontos distintos, ocasionados pela radioatividade, em especial na parte inferior da imagem, provavelmente decorrentes da presença de elementos radioativos na estrutura cristalina de cristais de apatita.

As Fotos 7 a 10 (Figura 5) ilustram as imagens autorradiográficas obtidas para amostras 10, 37, 90 e 132 provenientes da área, respectivamente, todas da Formação Ticunzal. Alguns testes com outras amostras também foram realizados, porém as imagens obtidas não tinham nitidez, indicando que a ocorrência de minerais radioativos é mais baixa.

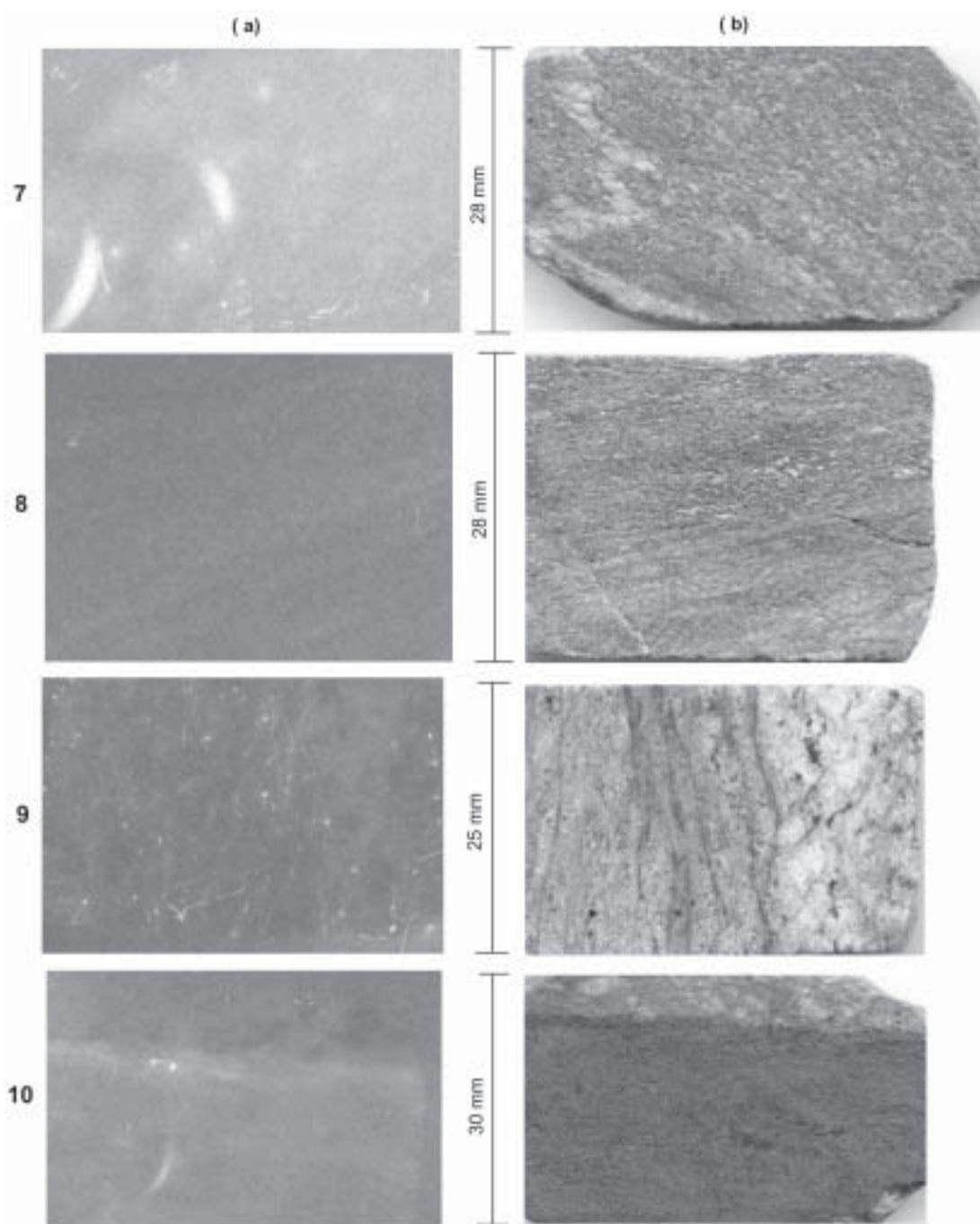
Na Foto 7 a rocha é um xisto amarelo, extremamente quartzoso, onde é possível se observar um veio de quartzo de 2 mm na parte esquerda da imagem. Este mesmo veio é visível, de forma escura, na imagem autorradiográfica, entre as marcas brancas que marcaram a emulsão. A mineralogia deste tipo de xisto é dada essencialmente por quartzo, muscovita e biotita,



**FIGURA 3.** Prancha de imagens autorradiográficas. **1:** Autorradiografia de uraninita depositada, exposta por período de 4 dias. **2:** Autorradiografia de uraninita depositada, exposta por período de 6 dias. **3:** Autorradiografia de uraninita depositada, exposta por período de 7 dias. **4:** Autorradiografia de uraninita depositada, exposta por período de 50 dias.



**FIGURA 4.** Prancha de imagens autorradiográficas de granitos do Complexo Socorro I, expostos por 50 dias. Os pontos em destaque são os registros autorradiográficos associados às desintegrações radioativas. **5:** Imagem autorradiográfica (a) de granito rosa salmão e respectiva amostra para comparação (b). **6:** Imagem autorradiográfica (a) de granito azul fantástico e respectiva amostra para comparação (b).



**FIGURA 5.** Prancha de imagens autorradiográficas de amostras provenientes da área de estudo, expostas por 50 dias. Imagem autorradiográfica (a) e respectiva amostra para comparação (b). **7:** Xisto do Membro Inferior da Formação Ticunzal (ponto 10): as manchas brancas com destaque são os registros autorradiográficos associados às desintegrações radioativas; as manchas brancas, na parte inferior e superior da imagem são marcas na emulsão e não áreas de desintegrações radioativas. **8:** Xisto proveniente do Membro Inferior da Formação Ticunzal (ponto 37): registro autorradiográfico com aspecto de “nuvem”, sem pontos em destaque. **9:** Paragnaisse do Membro Inferior da Formação Ticunzal (ponto 90): as manchas em destaque são os registros autorradiográficos associados às desintegrações radioativas. **10:** Xisto maciço do Membro Inferior da Formação Ticunzal (ponto 132): as manchas em destaque são os registros autorradiográficos associados às desintegrações radioativas.

com minerais opacos como acessórios. O elevado teor de Th (152 ppm) deve ser o responsável pelos pontos presentes na parte inferior da amostra.

A Foto 8 foi obtida de um xisto vermelho, composto essencialmente por quartzo, biotita e muscovita, muito

oxidado e apresentando bandamento, que pode ser observado também na imagem autorradiográfica. Não ocorrem pontos expressivos; entretanto, toda a amostra apresenta um registro autorradiográfico com aspecto de “nuvem”. Os teores de U, Th e  $^{40}\text{K}$  nesta amostra

são, respectivamente, 7 ppm, 20 ppm e 5%. Acredita-se que tempos maiores de exposição possam melhorar os resultados nas autorradiografias deste tipo de xisto.

Na Foto 9 a visualização dos pontos captados pela emulsão é clara. Trata-se de um paragnaisse, composto essencialmente por plagioclásio, quartzo, biotita e grana-da, com minerais opacos e apatita como acessórios. Os teores de U, Th e K são baixos; entretanto, a ima-gem autorradiográfica é clara e bem definida, levando a crer que a distribuição dos minerais acessórios é ampla pela lâmina.

A Foto 10 apresenta a imagem autorradiográfica de um xisto maciço da Formação Ticunzal, composto por quartzo, biotita e muscovita. A parte mais clara da rocha apresenta-se mais lixiviada, com a visualização dos grãos de quartzo em meio a matriz ferruginosa. O contato entre a parte mais lixiviada e a parte mais maciça é bastante visível na imagem autorradiográfica, sendo que a parte inferior apresenta um registro autorradiográfico maior, formando uma “nuvem” de pequenos pontos, assim como na Foto 8.

Os diferentes resultados obtidos nas imagens

autorradiográficas, inclusive a ausência de registro em amostras onde se esperava um resultado melhor, e a presença de registro autorradiográfico em outras menos ativas, podem decorrer das diferentes direções de corte das amostras, deixando os minerais mais ou menos expostos.

Vale salientar que a análise autorradiográfica empregada não permite a diferenciação entre as energias das partículas  $\alpha$ , o que possibilitaria a diferen-ciação dos rádio-nuclídeos emissores pertencentes às séries do U e Th.

Experimentos semelhantes, empregando emulsões diferentes, foram conduzidos por Pascholati (1989), que utilizou períodos de exposição superiores a 8 meses para a análise de granitos provenientes da suíte intrusiva Itu. Os resultados obtidos para os granitos do Complexo Socorro foram satisfatórios em função do tempo de exposição utilizado (50 dias). Certamente, com o aumento do tempo de exposição obter-se-iam melhores imagens tanto para estes granitos quanto para as amostras analisadas. Acredita-se que outras amostras provenientes da área também poderiam apresentar bons resultados autorradiográficos.

## CONCLUSÃO

A autorradiografia foi implementada com sucesso no LABIDRO – Laboratório de Isótopos e Hidro-química do DPM/IGCE/UNESP-Rio Claro, para atender às necessidades de desenvolvimento de pesquisa na área do projeto Rio Preto (GO). Os resultados obtidos foram satisfatórios, apesar de suge-

rirem que, através do aumento do tempo de exposição das amostras à emulsão fotográfica empregada, imagens mais definidas e precisas podem ser obtidas. O emprego desta técnica de maneira rotineira junto ao LABIDRO é possível, já se encontrando à disposição de pesquisadores interessados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio prestado pela Profa. Dra. Rosemarie Rohn na revelação fotográfica das emulsões empregadas neste estudo, e também ao CNPq pela bolsa de estudos (Processo 14/2798-3) e FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto (Processo 99/12476-0).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, S.M.; SOUZA, E.L.; OLIVEIRA, A.G.; SANTOS, A.R. **Projeto Rio Preto - Mapeamento Geológico - escala 1:25.000**. [s.l.]: Empresas Nucleares Brasileiras S.A./ Superintendência de Pesquisa Mineral (NUCLEBRÁS/ SUPPM), Relatório Final Interno, 1981.
2. ANDRADE, S.M.; LIBERAL, G.S.; SANTOS FILHO, J.L. Depósitos de urânio de Campos Belos e Rio Preto – Goiás. In: SCHOBENHAUS FILHO, C. **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1985, v. 1, p. 169-175.
3. BOWIE, S.H.U. Autoradiographic techniques in geological research. London: **Bulletin of the Geological Survey of the Great Britain**, v. 3, p. 58-79, 1951.
4. BRANDÃO, M.P.C. Uso de detectores plásticos em estudos autorradio-micrográficos de minerais radioativos da Província Uranífera de Lagoa Real (BA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, p. 1518-1529.
5. COELHO, C.V.P. **O Granito Serra do Carambéi (PR) e as anomalias uraníferas associadas**. Brasília, 1986. 308 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília.
6. COPPENS, R.; RICHARD, M.; RICHARD, P. Utilisations comparées des emulsions photographiques nucleaires et des films de nitrate de cellulose dans l'étude des rayons  $\alpha$  em géologie et mineralogie. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTOR, 10, 1979, Lyon. **Proceedings...** Pergamon, 1979, p. 771-775.
7. DUARTE, C.R. **Radioelementos naturais na área do Projeto Rio Preto (GO)**. Rio Claro, 2002. 169 p. Tese

- (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
8. FIGUEIREDO FILHO, P.M.; OLIVEIRA, A.G.; LIBERAL, G.S.; ABRAHÃO, J.R.S. Projeto Rio Preto. [s.l.]: Empresas Nucleares Brasileiras S.A./Superintendência de Pesquisa Mineral (NUCLEBRÁS/SUPPM), 1982. Relatório Interno.
  9. FUJIMORI, K. **Minerais radioativos do Campo Agostinho, Poços de Caldas (MG)**. São Paulo, 1974. 161 p. Tese (Livre Docência em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
  10. HAHN, E.J. Autoradiography: A review of basic principles. **American Laboratory**, v. 15, p. 64-71, 1983.
  11. HOUSTOUN, S.M. & JEFFERIES, N.L. CR-39  $\alpha$ -particle autoradiographs of some radioactive minerals from SW England. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS, 11, 1982, Bristol. **Proceedings...** Pergamon, 1982, p. 621-625.
  12. KWINTA, J.; DEMANGE, J.; MICHEL, J.J. Etude de la répartition de l'uranium dans les roches par la méthode des traces de fission. Application a l'échantillonnage en vue du dosage de l'uranium. **Journal Radioanalytical Chemistry**, v. 55, n. 2, p. 233-252, 1980.
  13. LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A.; SILVA, A. (Coords.) **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000**. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Metais de Goiás/Universidade Brasília (CPRM/METAGO/UnB), Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 2000, 184 p.
  14. MIRONOV, A.G.; ZHMODIC, S.M.; OCHIROV, Y.C. Determination of gold and uranium in black schists and sulfide ores using radiography complex. **Radium Measurement**, v. 25, n. 1, p. 495-498, 1995.
  15. MOURA, C.L. **Extração e mensuração de  $^{222}\text{Rn}$  em rochas ornamentais utilizadas como revestimento interno**. Rio Claro, 2000. 96 p. Exame de Qualificação (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
  16. NAGELDINGER, G.; FLOWERS, A.; SCHWERDT, C.; KELZ, R. Autoradiographic film evaluated with desktop scanner. **Nuclear Instruments Methods Physical Research**, Section A, v. 416, n. 2-3, p. 516-524, 1998.
  17. PASCHOLATI, E.M. **Caracterização geofísica da suíte intrusiva de Itu**. São Paulo, 1989, 135 p. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.
  18. ZEISSLER, C.J.; WIGHT, S.A.; LINDSTROM, R.M. Detection and characterization of radioactive particles. Oxford: **Applied Radiation Isotopes**, Elsevier Science, v. 49, n. 9/11, p. 1091-1097, 1998.

